

РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Рябов А.В.¹, Филипас А.А.², Тырышкин А.В.³

¹ТПУ, ИШИТР, гр. 8Е02,

E-mail: avr36@tpu.ru

²ТПУ, ИШИТР, к.т.н., заведующий кафедрой – рук. отделения на правах кафедры

E-mail: filipas@tpu.ru

³ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент,

E-mail: tyryshkin@tpu.ru

Введение

Люди зачастую испытывают трудности с переносом тяжелых вещей, таких, как багаж. Труднее всего приходится людям с ограниченными физическими возможностями, пожилым, женщинам и детям. Для решения этой проблемы можно использовать мобильную платформу, которая будет следовать за человеком и везти тяжелый багаж.

Багажный робот, должен отслеживать нахождение человека с помощью ультразвуковых датчиков и камер и двигаться за ним, перевозя багаж в требуемом направлении. Багаж помещается в отделение для багажа, которое находится сверху корпуса робота, и фиксируется в нем дверцей, которая открывается с помощью пластиковой карты по технологии «Radio Frequency Identification». Такой подход позволит избежать потерю багажа и проникновения в отсек посторонних лиц.

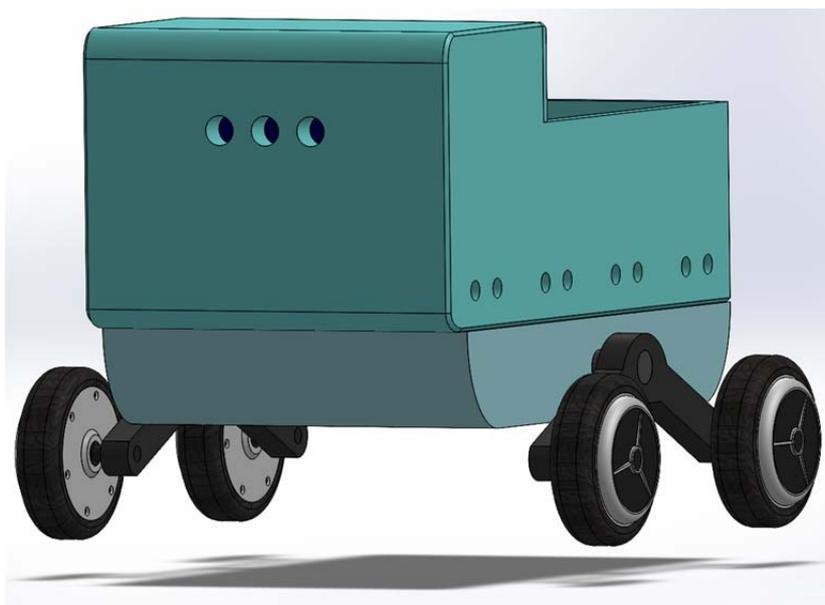


Рис. 1. 3D модель мобильной роботехнической платформы

Расчёт

На первом этапе проектирования требуется определить приводы для мобильной роботехнической платформы. В качестве приводов для решения данной задачи используются мотор-колёса. По сравнению с другими типами двигателей мотор-колёса обладают большей энергоэффективностью и компактностью. Выбор мотор-колёса обусловлен такими параметрами, как: частота вращения ротора; момент, создаваемый колесом; мощность колеса.

При расчёте вращающего момента на мотор-колесе, требуется определить силу, необходимую для движения платформы с нагрузкой и преодоления силы трения качения. Трение качения – это сопротивление движению, возникающее при перекатывании тел друг по другу, т. е. сопротивление качению одного тела (катка) по поверхности другого, как правило, неподвижного (дорога, трос и пр.) [1].

Поиск формулы для определения силы трения качения был затруднён. В просмотренных учебниках по физике за разные периоды издания данная формула отсутствовала. В различных источниках информации данные отличались.

В итоге, в качестве источника информации была выбрана книга Ф.П. Боудена «Трение и смазка твёрдых тел», и формула была взята отсюда:

$$F_{\text{тр. к.}} = \mu_k \cdot \frac{N^2}{D},$$

где $F_{\text{тр. к.}}$ – сила трения качения [Н]; μ_k – коэффициент трения качения [м]; N – прижимающая сила [Н]; D – диаметр колеса [м].

Следующая трудность возникла в поиске числового значения коэффициента трения качения для случая проекта. По проекту движения платформы должно осуществляться резиновыми колёсами с диаметром 124 миллиметра по линолеуму. Единственный найденный источник [3], на котором были числовые коэффициенты трения качения между некоторыми поверхностями, не содержал требуемого коэффициента. По мимо этого, значения коэффициентов лежали в некотором диапазоне. Отсюда можно понять, что значения коэффициентов между одинаковыми поверхностями могут отличаться от величин других параметров.

Цель

Для решения данной проблемы было решено провести эксперимент, в ходе которого преследовались следующие цели:

1. Установить значение коэффициента трения качения между резиной и линолеумом для колеса диаметром 124 миллиметра.
2. Проверить гипотезу связи коэффициентов трения качения и скольжения по выражению:

$$\mu_k = \mu_{\text{ск}} \cdot D,$$

где μ_k – коэффициент трения качения [м]; $\mu_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения [безразмерная величина]; D – диаметр катка [м]

Эксперимент

Для проведения эксперимента была собрана платформа, которая состояла из листа ДСП размерами 400×600 миллиметров и четырёх колёс диаметром 124 миллиметра, закреплённых к ДСП болтами М8. На платформе находились грузы величиной от 10 до 100 килограмм. Величина силы трения качения определялась с помощью динамометра, рассчитанного на максимальную нагрузку в 110 [Н]. На рис. 2 представлены элементы эксперимента.

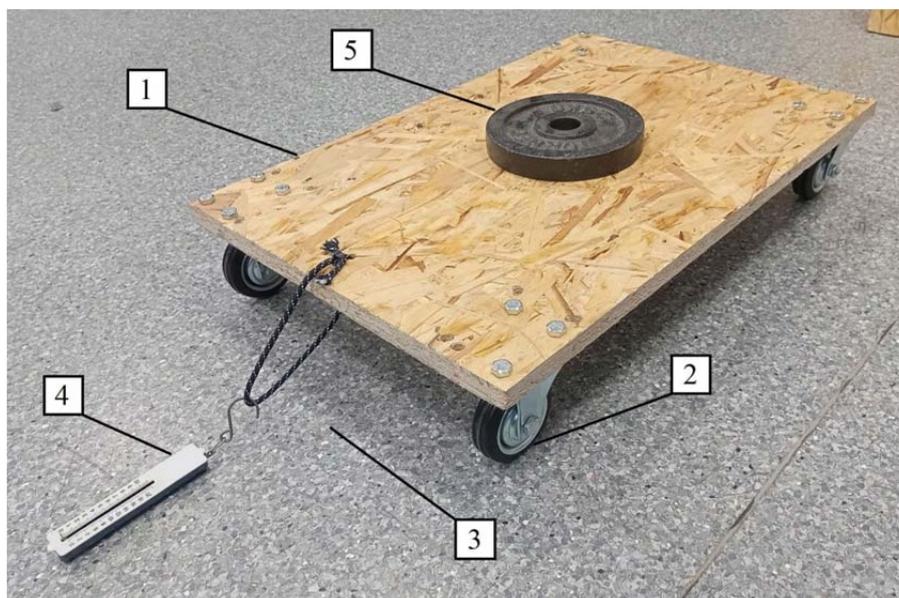


Рис. 2. Элементы эксперимента

На рисунке имеются следующие обозначения: 1 – платформа, основанием которой является лист ДСП; 2 – колесо с резиновым покрытием; 3 – поверхность (в данном случае линолеум); 4 – динамометр; 5 – нагрузка.

В ходе эксперимента определялась, как сила трения качения, так и сила трения скольжения. Для получения величины силы трения скольжения сила прикладывалась перпендикулярно ходу движения колёс. Поэтому вращения колёс не происходило и возникало скольжение платформы.

После измерения всех величин была сформирована табл. 1.

Таблица 1

Движение по линолеуму

Масса	Сила трения качения	Сила трения скольжения
10	8	96
15	11	106
20	16	
25	19	
30	21	
35	24	
40	28	
45	32	
50	34	
55	36	
60	42	
65	50	
70	44	
75	58	
80	54	
85	64	
90	66	
95	72	
100	76	

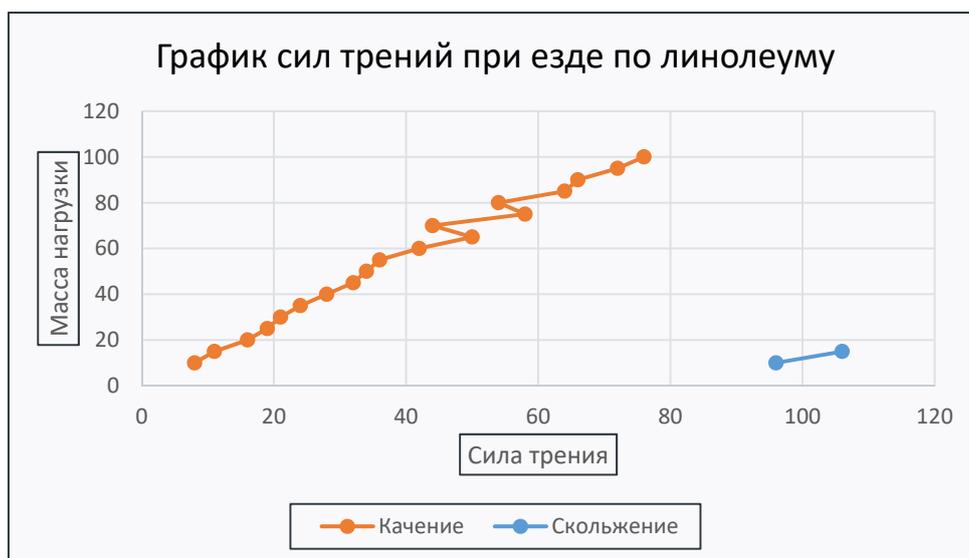


Рис. 3. Сила трения

оранжевая линия – сила трения качения; синяя линия – сила трения скольжения

Из формулы силы трения качения можно выразить коэффициент трения качения:

$$F_{\text{тр.к.}} = \mu_{\text{к}} \cdot \frac{N^3}{D} \quad \Rightarrow \quad \mu_{\text{к}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{N^3}$$

Прижимающая сила платформы при езде по ровной поверхности будет вычисляться, как сумма масс платформы и нагрузки, умноженная на ускорение свободного падения:

$$N = (m_{\text{п}} + m_{\text{н}}) \cdot g,$$

где $m_{\text{п}}$ – масса платформы [кг]; $m_{\text{н}}$ – масса нагрузки [кг]; g – ускорение свободного падения [$\text{м}/\text{с}^2$].

Платформа должна будет выдерживать нагрузку 100 килограммов, поэтому значение коэффициента трения качения равно:

$$\mu_{\text{к}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{N^{\frac{3}{2}}} = \frac{F_{\text{тр.к.}} \cdot D}{((m_{\text{п}} + m_{\text{н}}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}} = \frac{76 \cdot 124 \cdot 10^{-3}}{((3.8 + 100) \cdot 9.8)^{\frac{3}{2}}} \approx 0.00029 \text{ [м]}.$$

Опровержение гипотезы

Попробуем получить выражение: $\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot D$. Для этого запишем формулу определения трения скольжения:

$$F_{\text{тр.ск.}} = \mu_{\text{ск}} \cdot N,$$

где $\mu_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения [безразмерная величина]; N – прижимающая сила [Н].

Возьмём равными силы трения скольжения и качения, тогда:

$$F_{\text{тр.ск.}} = F_{\text{тр.к.}} \Rightarrow \mu_{\text{ск}} \cdot (m_{\text{п}} + m_{\text{н}2}) \cdot g = \frac{\mu_{\text{к}} \cdot ((m_{\text{п}} + m_{\text{н}1}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}}{D},$$

где $m_{\text{н}1}$ – масса нагрузки при скольжении [кг]; $m_{\text{н}2}$ – масса нагрузки при качении [кг].

Из таблицы 1 видно, что силы трений будут равны при различных массах нагрузки. При равных силах нагрузка при качении будет больше. По мимо этого прижимающая сила силы трения качения имеет степень 1.5. Поэтому множители прижимающих сил сократить не удастся. Отсюда следует вывод, что выражение:

$$\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot D$$

не является верным, а связь коэффициентов определяется не только диаметром, но и величинами прижимающих сил:

$$\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{ск}} \cdot \frac{(m_{\text{п}} + m_{\text{н}2}) \cdot g}{((m_{\text{п}} + m_{\text{н}1}) \cdot g)^{\frac{3}{2}}} \cdot D.$$

Заключение

Использование мобильных роботизированных платформ упростит жизнь человеку и ускорит развитие в сфере робототехники и информационных технологий. При проектировании платформы необходимо осуществить важнейший первоначальный этап – расчёт и рациональный подбор компонентов. Выполнение верных расчётов основывается на использовании актуальной информации и корректных законов физики. Полученный в ходе экспериментальной работы коэффициент трения качения позволит получить точные величины и соответственно определить наиболее подходящий по параметрам привод.

Список литературы

1. Трение качения / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Трение_качения (дата обращения: 01.11.2023).
2. Bowden F.P. Friction and lubrication of solids. [Текст] / Bowden F.P. – 1-е изд. – OXFORD: Clarendon PRESS, 1964 – 544 с.
3. Коэффициенты трения качения / [Электронный ресурс] // Инженерный справочник: [сайт]. – URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionOfRolling/> (дата обращения: 01.11.2023).
4. Савельев, И.В. Курс общей физики, том I. [Текст] / И.В. Савельев – 2-е изд. – Москва: Наука, 1991 – 517 с.
5. Feynman R.P., Layton R.B, Sands M.L. Feynman lectures on physics. Volume 1. [Текст] / Feynman R.P., Layton R.B, Sands M.L. – 1-е изд. – Reading, Massachusetts, Palo Alto, London: ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INCORPORATED, 1963 – 260 с.